



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

**RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM LATOSSOLO AMARELO SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO**

**LUCAS ROSA DE AQUINO CUNHA**

**Areia – PB  
Fevereiro / 2018**

LUCAS ROSA DE AQUINO CUNHA

**RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM LATOSSOLO AMARELO SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal  
da Paraíba como requisito parcial  
para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

**Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira**

**Areia – PB  
Fevereiro / 2018**

Ficha catalográfica elaborada na seção de processos técnicos da biblioteca  
Setorial de Areia. CCA/UFPB.

C972r *Cunha, Lucas Rosa de Aquino.*

Resistência a penetração em latossolo amarelo sob diferentes condições de uso /  
Lucas Rosa de Aquino Cunha. - Areia: UFPB/CCA, 2018.  
xii, 43 f. : il.

*Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) -  
Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba,  
Areia, 2018.*

*Bibliografia.*

*Orientador: Flávio Pereira de Oliveira.*

*1. Latossolo amarelo – Compactação 2. Física do solo – Qualidade 3.  
Mecânica do solo – Sistema de cultivo I. Oliveira, Flávio Pereira de  
(Orientador) II. Título.*

UFPB/CCA

LUCAS ROSA DE AQUINO CUNHA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO EM  
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
USO**

Aprovado em: 08 de Fevereiro de 2018

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

DSER/CCA/UFPB

ORIENTADOR

---

Mestrando Josevaldo Ribeiro Silva

PPGCS/CCA/UFPB

EXAMINADOR

---

Mestrando Danillo Dutra Tavares

PPGCS/CCA/UFPB

EXAMINADOR

Aos meu pais João Cirino e Rita de Cássia, e ao meu irmão Segundo por terem sempre me apoiado em tudo na minha vida, e dando tranquilidade para que eu possa conquista as batalhas que vieram e virão.

**DEDICO.**

A Deus, por estar presente em minha vida, me guiando, protegendo e concedendo  
vitórias.

À família que a base de toda minha existência neste mundo, obrigado por fazer parte da  
minha vida.

**OFEREÇO.**

## AGRADECIMENTOS

Agraço primeiramente a Deus, pois sem ele não teria chegado aonde cheguei.

A todos meus familiares, em especial meus pais que tanto amo, João Cirino e Rita de Cássia, por ser um exemplo de guerreiros, carinho, pelos valores de humildade, caráter e apoia nesta minha caminhada e nunca mediram esforços para que esse dia chegasse e vissem o sonho de seu filho e da família Cunha se tornar um Engenheiro agrônomo.

A minha namorada Tamiris Carla, por todo apoio, carinho e companheirismos em todos os momentos.

Em especial, agradeço a minha avó Maria José, por sempre estar orando e pedindo a Deus que eu me tornasse um eng. Agrônomo, e pela preocupação em ligar todas as noites para saber como estava.

Aos meus colegas da turma 2012.2, em especial Geysilene, Érico, Expedito, Edvanilton, Luan Cardoso e Valdeir, pela ajuda nos trabalhos e provas, todas resenhas para distração e esquece as dificuldades encontradas no caminho, enfim, me ajudaram e incentivaram em todo o meu curso.

Aos meus companheiros de lar, que foram a minha segunda família em Areia, Alex (Lek), Josévaldo (Baldo), Neto Roque (Netoião), João Pedro (Pagode), Jaime Neto (Boneco), Ricardo (Tchou), Ernandes (Brocador) e o agregado da casa João Rafael (Nego Jão), pelas várias experiências vividas, por todo companheirismo e por tornarem a vida nesse curso mais divertida.

Ao professor Flávio Pereira de Oliveira, pela valiosa orientação acadêmica dedicada nos últimos seis meses, sempre com muito respeito, consideração e confiança me orientando na vida científica.

Aos meus companheiros de laboratório de Física do solo, em especial Roberval técnico do laboratório e Danilo mestrando da física que está na minha banca examinadora, pelo apoio, companheirismo e ajuda nas análises.

CUNHA, L. R. A. **Resistência a penetração em Latossolo Amarelo sob diferentes condições de uso.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2018. 26f. (Monografia – Curso de Agronomia). Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

### RESUMO

Avaliar os atributos físicos e resistência mecânica do solo à penetração em áreas com diferentes condições de uso em um Latossolo Vermelho Amarelo localizado no município de Areia, PB, assim como, o efeito da forma de utilização e sistema de cultivo sobre a compactação e qualidade física desse. O trabalho foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural, de Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UFPB. O perímetro das áreas escolhidas foi obtido através de levantamento com GPS portátil, sendo adotada para amostragem uma malha retangular no espaçamento 10 x 10 m, e os pontos localizados nos cruzamentos das malhas foram georreferenciados, onde foram coletadas amostras deformadas para determinações físicas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade. Também foram selecionadas três áreas com diferentes condições de uso: I. Área cultivada com Milho; II. Área de mata nativa e III. Área de pastagem, e em cada área foi selecionada uma parcela de 60x60 m, dentro destes foram coletados 20 pontos em cada área. As variáveis analisadas foram a resistência a penetração no campo, umidade gravimétrica do solo, argila dispersa, grau de floculação, densidade de partícula e porosidade total do solo. Os mapas de isolinhas foram feitos por método de krigagem. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), e os dados foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de médias pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Com o aumento da profundidade, observou-se aumento da densidade do solo, maior resistência mecânica a penetração e diminuição da porosidade total na área I e II com exceção para pastagem. O sistema de cultivo com milho favoreceu a formação de uma camada subsuperficial mais compactada que a camada superficial. Enquanto que na área de pastagem foi maneira oposta, favorecendo a obtenção de condições físicas do solo mais favoráveis quanto à resistência mecânica do solo à penetração ao longo do perfil. O cultivo de pastagens favoreceu mais grandemente as condições físicas do solo quando comparado ao sistema convencional, necessitando estes últimos de mais cuidados para preservação condições favoráveis ao desenvolvimento agrícola.

**Palavras chave:** Compactação, sistemas de cultivo, física do solo.



CUNHA, L. R. A. **Resistance to penetration in Oxisol under different conditions of use.** Areia - PB, Agricultural Science Center, UFPB, February 2018. f. (Monography - Course of Agronomy). Advisor: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

### ABSTRACT

To evaluate the physical attributes and mechanical resistance of the soil to penetration in areas with different conditions of use in a Yellow Red Latosol located in the city of Areia, PB, as well as the effect of the use and cultivation system on a compaction and physical . The work carried out in the Laboratory of Soil Physics of the Department of Soils and Rural Engineering, Center of Agrarian Sciences of the Federal University of Paraíba–DSER/CCA/UFPB. The perimeter of the chosen areas was obtained by means of a portable GPS survey. A rectangular mesh in the 10 x 10 m spacing was used for sampling, and the points located at the intersections of the meshes were georeferenced, where deformed samples were collected for physical determinations in the layers of 0-10 cm and 10-20 cm deep. Three areas with different conditions of use were also selected: I. Area cultivated with corn; II. Native forest area and III. Pasture area, and in each area was selected a plot of 60x60 m, within these were collected 20 points in each area. The variables analyzed were soil penetration resistance, soil gravimetric moisture, dispersed clay, flocculation degree, particle density and total soil porosity. Isoline maps were made by kriging method. The design was completely randomized (DIC), and the data were submitted to analysis of variance and Tukey test ( $p < 0.05$ ). As the depth increased, soil density increased, mechanical resistance to penetration increased, and total porosity decreased in area I and II, except for pasture. The corn cultivation system favored the formation of a more compacted subsurface layer than the superficial layer. While in the pasture area it was the opposite way, favoring the obtaining of soil physical conditions more favorable as to the mechanical resistance of the soil to the penetration along the profile. Pasture cultivation favored soil physical conditions more favorably when compared to the conventional system, the latter needing more care to preserve favorable conditions for agricultural development.

**Keywords:** Compaction, cropping systems, soil physics.

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de flocculação e classificação textural da camada superficial em Latossolo Vermelho Amarelo.....	27
<b>Tabela 2.</b> Densidade do solo, de partículas e porosidade total de áreas na camada superficial do solo.....	29
<b>Tabela 3.</b> Resistência do solo à penetração (Mpa) em diferentes condições de uso.....	31
<b>Tabela 4.</b> Valores de umidade gravimétrica encontrada no perfil do solo para áreas de pastagem, cultivada e mata nativa.....	31

## LISTA DE FIGURA

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização da área de estudo.....	21
<b>Figura 2.</b> Distribuição dos pontos de amostragem em malha regular.....	22
<b>Figura 3.</b> Mapas de isolinha da resistência mecânica à penetração de solo de área de pastagem e cultivada.....	32

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Revisão de literatura .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Qualidade do solo em sistemas de produção .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Resistencia mecânica do solo à penetração .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Material e métodos .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Local e solo .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Amostragem do solo .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3. Caracterização física do solo .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.1. Resistência a penetração .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.2. Umidade gravimétrica do solo.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.3. Análise granulométrica do solo .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.4. Densidade, partícula e porosidade total do solo .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4. Geração de mapas de isolinhas.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5. Análise estatística.....</b>	<b>25</b>
<b>5. Resultados e discussão.....</b>	<b>26</b>
<b>6- Conclusões.....</b>	<b>35</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>36</b>



## 1. Introdução

A atividade agropecuária tem sido normalmente desenvolvida, sem levar em consideração importantes fatores que podem alterar as características dos atributos físico-químicos do solo gerando problemas de ordem edáfica. A busca da qualidade de atributos do solo torna-se, assim, essencial para a utilização sustentável de agroecossistemas, visto que esses sistemas dependem de componentes físicos, químicos e biológicos interdependentes (DEXTER, 2004). A densidade, a porosidade, a taxa de infiltração de água e a resistência à penetração são exemplos de atributos que têm sido utilizados na avaliação do estado de compactação do solo (LIMA *et al.*, 2004).

A resistência à penetração se refere a um atributo físico que interfere de forma direta no crescimento das raízes, afetando o estabelecimento das plantas, que pode ser consequente das características pedológicas naturais ou das técnicas de manejo que foram utilizadas no solo. Na prática, quanto maior a resistência a penetração do solo, menor será o sistema radicular da planta, podendo afetar a produtividade por hectare (DEXTER, 2004). Sua mensuração pode ser utilizada para avaliar o impacto dos sistemas de uso e manejo do solo, no processo de compactação (SOUZA *et al.*, 2005), e considera os atributos físicos do solo estudado (DEXTER, 2004).

Segundo Costa (2016), a resistência do solo à penetração é variável com a densidade e a umidade do solo; sendo, a densidade do solo, uma propriedade condicionada pelo manejo do solo e normalmente pouco variável durante o ciclo de uma cultura; e, a umidade, dependente da capacidade do solo em reter água e da distribuição da precipitação do tempo, sendo sujeita a grandes flutuações durante o ciclo das culturas. Logo, provavelmente, cada sistema de cultivo poderia condicionar limitações de resistência à penetração em diferentes períodos e áreas, conforme manejos previamente adotados.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar os atributos físicos e resistência mecânica do solo à penetração em áreas com diferentes condições de uso.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar atributos físicos, tais como granulometria, densidade, porosidade, disponibilidade de água no solo, condutividade hidráulica;
- Avaliar a influência do tipo de uso do solo em áreas com a sua qualidade física.
- Avaliar a resistência mecânica à penetração em solo sob diferentes formas de cultivos

### **3. Revisão de literatura**

#### **3.1. Qualidade do solo em sistemas de produção**

As condições físicas em que o solo se encontra durante a fase de implantação e desenvolvimento de uma determinada cultura influencia consideravelmente sua produtividade. No sistema produtivo, além das precauções com a fertilidade do solo, é imprescindível dedicar atenção às características físicas do solo, tais como porosidade, agregação, resistência à penetração e densidade (BOTTEGA et al., 2011).

O efeito do condicionamento físico do solo sobre o crescimento das plantas ocorre pela atuação de vários de seus atributos, bem como das interações entre eles. Como exemplo, as variações da umidade do solo promovem alterações da aeração, na condutividade hidráulica, no potencial de água e na resistência à penetração. Desta forma, os atributos físicos do solo relacionados com a produtividade das culturas podem ser divididos em duas categorias: A primeira relaciona aqueles diretamente envolvidos com o desenvolvimento das plantas, a saber, a água, oxigênio, resistência à penetração das raízes e temperatura, os quais afetam diferentes processos fisiológicos tais como a fotossíntese, crescimento radicular e foliar; Já a segunda relaciona os indiretamente, tais como a textura, agregação, porosidade e densidade do solo, que afetam a produtividade das culturas devido à influência sobre a retenção de água, aeração, temperatura e a resistência do solo à penetração das raízes (SILVA; NOGUEIRA JUNIOR, 2001).

Uma das formas de alterar a condição física do solo é através de seu manejo, buscando criar condições estruturais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da planta, tanto da parte aérea quanto das raízes (BOTTEGA et. al., 2011). Verifica-se que o preparo do solo para os cultivos agrícolas é tradicionalmente realizado com arações e gradagens pesadas, o que pode ocasionar problemas de erosão, compactação e empobrecimento progressivo do solo, com consequente diminuição da produtividade dos cultivos (MAZURANA et. al., 2011). Neste contexto, a compactação do solo ocorre



com frequência em áreas que utilizam máquinas e implementos ou onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Em um trabalho realizado por Costa et al. (2009) em Santa Catarina em um Cambissolo Húmico alumínico, em área com pastagem nativa pastejada por nove anos, observou-se que o preparo do solo com arado ou escarificador foi o fator que mais modificou as propriedades do solo, reduziu o teor de carbono orgânico total (COT), a estabilidade dos agregados, a densidade e a umidade e aumentou a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração do solo, comparado ao sistema de plantio direto, no qual os efeitos do manejo da pastagem não modificaram as propriedades físicas do solo. Prado et al. (2002), avaliando alterações na resistência à penetração e na densidade do solo em razão de sistemas de preparo do solo, observaram que os sistemas de preparo afetaram significativamente a resistência à penetração e a densidade do solo.

A qualidade pode ser determinada por intermédio de um grupo de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de fatores sociais, que estão interligados fortemente, de maneira que se a alteração sobre qualquer um dos atributos traga consequências a todos os outros (DORAN; PARKING, 1994; FREITAS et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013; MEDEIROS et al. 2001). A qualidade física do solo está relacionada à sustentabilidade de sistemas agropecuários e a sua avaliação deve ser realizada através de indicadores (PEREIRA et al., 2011), que devem ser integradores de processos e relacionarem-se claramente com funções do solo, refletindo o seu comportamento (REINERT, 2006).

Os indicadores físicos, do ponto de vista das atividades agrícolas, assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão (PEREIRA et al., 2011). Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (SOARES ARCOVERDE et al., 2015). Segundo Reynolds et al. (2002) esses indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e sua avaliação encontra-se em processo de expansão, uma vez em que é observada relação entre a melhoria da qualidade física e consequentemente melhoria na qualidade química e biológica do solo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007). Um solo possui boa qualidade física quando apresenta condições adequadas

para o desenvolvimento radicular das plantas, para o funcionamento das propriedades hídricas, trocas gasosas, armazenamento e suprimento de nutrientes e atividades biológica (ARSHAD et al., 1996; GOMES; FILIZOLA, 2006; ARAÚJO et al., 2012).

Com relação a indicadores de qualidade física dos solos, Singer e Ewing (2000) e Imhoff (2002) sugerem que a escolha deve recair sobre aqueles que estão relacionados diretamente à produção das culturas e que sejam suficientemente potentes para medir a capacidade do solo de fornecer adequada aeração e quantidade de água para o crescimento e expansão do sistema radicular, da mesma forma que devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação (LLANILLO, et al., 2006).

Os indicadores mais utilizados de qualidade física do solo são a densidade, a porosidade total, a distribuição e o tamanho dos poros, a distribuição das partículas, a resistência do solo à penetração, a profundidade efetiva de enraizamento, o intervalo hídrico ótimo, o índice de compressão, o diâmetro médio de agregados e o nível de matéria orgânica (TOPP et al., 1997; SCHOENHOLTZ, et al., 2000; SINGER; EWING, 2000).

O conhecimento do comportamento físico do solo possibilita adequar as atividades agrícolas à sua aptidão, o que pode reduzir a erosão das camadas superficiais e, por consequência, sua degradação física, química e biológica. A infiltração de água no solo e a espessura do horizonte A fornecem indicativos de sua qualidade, gerando informações que tornam possível verificar a existência de camadas compactadas, a formação superficial de crostas, bem como as consequências dos processos erosivos (BERTOLANI; VIEIRA, 2001).

Santos et al. (2011) em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), em comparação à pastagem contínua e ao cerrado nativo, verificaram que os sistemas de cultivo provocaram impacto nos atributos físico-hídricos, tendo a pastagem em rotação no sistema ILP, mesmo após quatro anos, reduzido a qualidade física do solo em comparação à pastagem contínua.

### 3.2. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência do solo à penetração é um atributo muito utilizado para estimar a compactação (SILVA et al., 2003; ROQUE et al., 2008), bem como para encontrar camadas do solo compactadas (COLET et al., 2009), por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003). Um atributo físico relativamente fácil de ser obtido, de certa forma, de ser correlacionado com a densidade e a macroporosidade, podendo ser mensurada por meio de penetrógrafos ou penetrômetros automáticos (REINERT et al., 2007), de anel dinamométrico ou de impacto (STOLF et al., 1963). Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência à penetração do solo é mais afetada pela variação dos conteúdos de sua umidade, necessitando tomar esse fator também no levantamento de dados no campo (MERCANTE *et al.*, 2003).

A resistência do solo ao uso de penetrômetro é uma forma fácil e ágil de mensurar a resistência à penetração em várias profundidades, possibilita também relacionar fatores de resistência do solo à elongação radicular utilizando o aparelho favorecendo interpretações de efeito nas culturas (CORREIA, 2014). O princípio do penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste, quando na parte superior desta, é exercida uma força, por uma distância conhecida, normalmente de 40 cm (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Os níveis críticos de resistência para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Quanto maior a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor a macroporosidade que representa o principal espaço para o crescimento das raízes (TARDIEU, 1994). Arshad et al. (1996) estabeleceu a seguinte classificação da resistência à penetração (RP): a) extremamente baixa:  $RP < 0,01$  MPa; b) muito baixa:  $0,01 RP < 0,1$  MPa; c) baixa:  $0,1 RP < 1,0$  MPa; d) moderada:  $1,0 RP < 2,0$  MPa; e) alta:  $2,0 RP < 4,0$  MPa; f) muito alta:  $4,0 RP < 8,0$  MPa e g) extremamente alta:  $RP \geq 8,0$  MPa.

Pauletto et al. (1989) constataram que somente seriam consideradas camadas compactadas aquelas nas quais os valores de resistência à penetração fossem

superiores a 1,72 MPa, alertando também para o fato de que o limite superior de 2,32 MPa interferia no desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho. Pérez-Gomar et al. (2002) observaram que quando a umidade do solo se encontra ao redor de 0,24 cm<sup>3</sup>, a resistência à penetração resultou valores superiores ao referido 2,0 MPa, encontrando-se também uma zona mais compactada entre a camada de 0,15 a 0,30m. À medida que a umidade do solo aumentou para valores próximos de 0,29 cm<sup>3</sup>, a resistência à penetração diminuiu, porém, a camada resistente continuou. Também, na condição de solo saturado, foram registrados os menores valores de resistência à penetração, mesmo na zona mais compactada.

A umidade possui pouco efeito sobre a resistência à penetração do solo empolado e solto, aumentando, contudo, com o aumento de sua densidade. Por outro lado, a influência da densidade sobre a resistência é tão maior quanto mais seco estiver o solo. A taxa de alongamento radicular diminui com o aumento da resistência ao penetrômetro, que contrariamente às raízes, segue um trajeto linear no solo, de forma insensível à presença dos bioporos, planos de clivagem e/ou fraqueza, locais esses de extrema avidez ao alongamento radicular (BENGOUGH et. al., 2001).

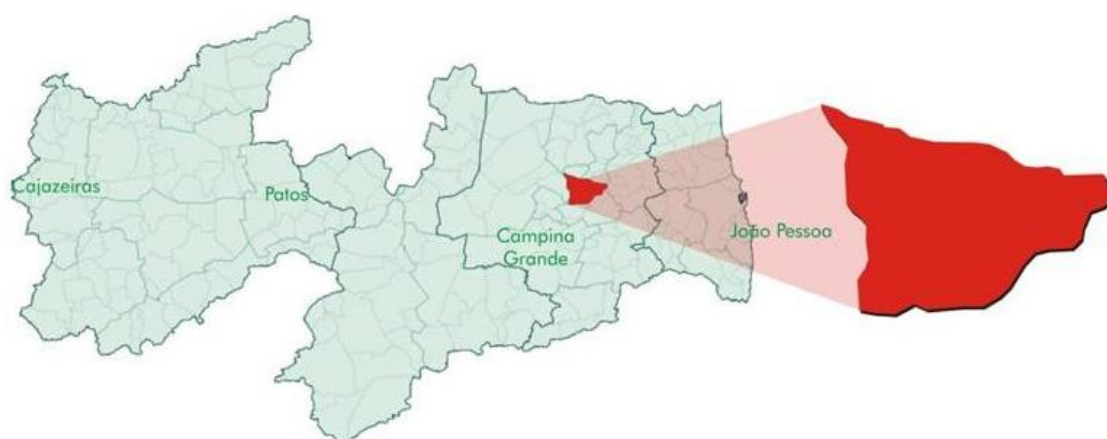
## 4. Material e métodos

### 4.1. Local e solo

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UFPB.

Para a realização deste estudo foi selecionado um solo Latossolo Amarelo do município de Areia (PB) (EMBRAPA, 2006). (Figura 1.)

**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo.



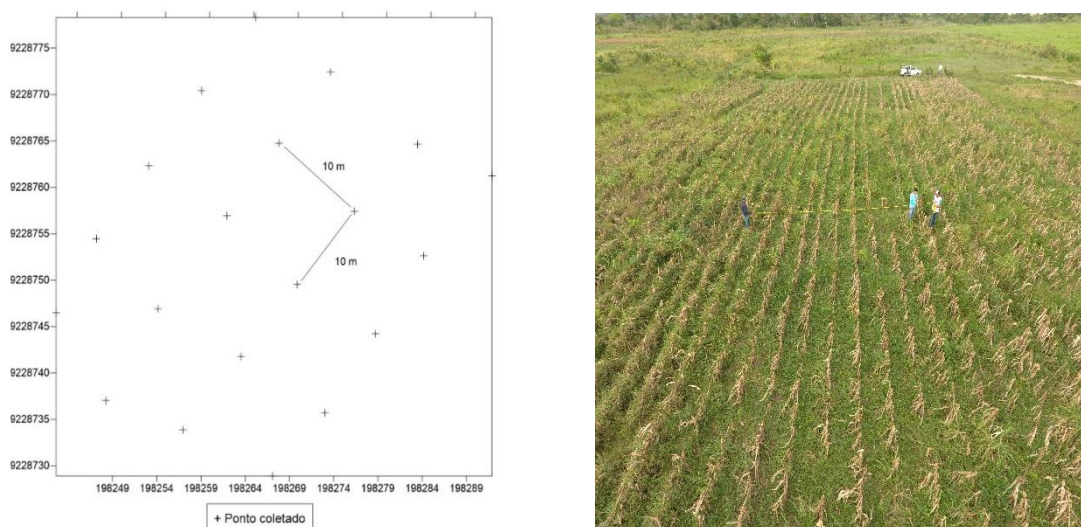
**Fonte: Governo da Paraíba**

O município está localizado na região Leste do Estado da Paraíba, na denominada Mesorregião do Agreste Paraibano, microrregião do Brejo Paraibano. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta um clima do tipo AW' - quente e sem-úmido, está a uma altitude variando entre 400m e 600m, com temperatura média anual de 26°C e precipitação média anual em torno de 1.350,0 mm (FUNCEME, 2018).

## 4.2. Amostragem do solo

O perímetro das áreas escolhidas foi obtido através de levantamento com GPS portátil eTrex® 20x da Garmin. Para amostragem foi adotada uma malha retangular no espaçamento 10 x 10 m, e os pontos localizados nos cruzamentos das malhas foram georreferenciados (Figura 2).

**Figura 2.** Distribuição dos pontos de amostragem em malha regular.



Em cada área foram coletadas 5 amostras de solo deformadas por profundidade, para determinações nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. Também foram feitas 3 mini trincheira para coleta de umidade.

Na ordem de solo foram selecionadas três áreas com diferentes condições de uso: I. Área cultivada com Milho; II. Área de mata nativa e III. Área de pastagem, e em cada área foi selecionada uma parcela de 60x60 m.

### 4.3. Caracterização física do solo

#### 4.3.1. Resistência a penetração

Foi determinada a resistência do solo à penetração, na linha e entrelinha das culturas, com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/ Planalsucar-Stolf) (STOLF et al., 1983). A transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm impacto<sup>-1</sup>) em resistência à penetração (MPa) será obtida pela fórmula dos “holandeses”, segundo Stolf (1991). Dentro das áreas foram coletados 20 pontos para análise de resistência.

A resistência à penetração foi obtida da seguinte forma:

$$R = \frac{Mg + mg + \left( \frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A}$$

em que, R = resistência mecânica do solo à penetração; M = massa do êmbolo, 4,03 Kg; g = aceleração da gravidade; m = massa do aparelho excetuando o êmbolo, 3,24 Kg; h = altura percorrida pelo êmbolo, 56 cm; x = penetração do cone no solo, cm/impacto; A = Área basal do cone (cm<sup>2</sup>).

#### 4.3.2. Umidade gravimétrica do solo

Em cada área selecionou-se um ponto para a abertura de pequenas trincheiras que permitissem a coletas de solos nas profundidades de 0 – 10, 11 – 20, 21 – 30, 31 – 40, 41 – 50, 51 – 60 cm, totalizando 18 amostras que foram utilizadas para obter a umidade gravimétrica do solo no momento da coleta e medidas de resistência a penetração.

#### 4.3.3. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica dos solos amostrados foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (EMBRAPA, 2011), usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém, sem o uso do dispersante químico. A partir dos dados será possível calcular o grau de floculação.

O grau de floculação foi obtido da seguinte forma:

$$gf = \frac{Arg - Arg_{H_2O}}{Arg} \times 1000$$

Onde Gf é o grau de floculação (g/Kg), Arg é o teor de argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH (g kg<sup>-1</sup>), e Arg<sub>H<sub>2</sub>O</sub> é o teor da argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>).

#### 4.3.4. Densidade, partícula e porosidade total do solo

A densidade do solo e a densidade de partículas foram determinadas segundo metodologias descritas em EMBRAPA (2011). A densidade do solo teve como princípio a impermeabilização de um torrão ou conglomerado, feita com parafina fundida, de maneira a permitir mergulhá-lo em água ou outro líquido e determinar seu volume. Enquanto que, a densidade de partículas teve como princípio a utilização da água destilada para medir o volume deslocado por uma massa conhecida de solo em um balão volumétrico de 100 ml.



A porosidade total foi estimada por meio da expressão:

$$Pt = [1 - (\frac{Ds}{Dp})]$$

Onde Pt é a porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), Ds é a densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e Dp a densidade de partícula ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

#### **4.4. Geração de mapas de isolinhas**

A interpolação dos dados foi processada pelo método da krigagem, possibilitando a produção dos mapas de isolinha pelo software Surfer 14 (GOLDEN Software, 2017).

#### **4.5. Análise estatística**

O delineamento foi inteiramente casualizado, os dados foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de médias Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 5. Resultados e discussão

Na Tabela 1, são apresentados os dados referentes a análise textural, com resultados de areia, silte, argila, onde verificou-se que os valores de cada fração de textura não variaram estatisticamente quanto a profundidade e condição de uso. A mudança da classe textural de um solo ocorre pelos processos específicos de formação do solo como: Lessivagem, Elutriação, processos erosivos seletivos e/ou processos de intemperismo. Segundo a Reinert e Reichert (2006) relatam que a classe textural de um solo é uma característica que varia muito pouco ao longo do tempo, que ocorrem em escala de séculos a milênios. Portanto, o uso e o manejo do solo afetam um pouco a textura de um solo, acarretando no fato que em propriedade rural, em área com classe textural semelhantes, as variações da qualidade física estão associadas à alteração de outras propriedades físicas. Rozane et al. (2010) em seu trabalho com Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram valores similares na fração argila e de silte, esses dados também corroboram aos encontrados por Tavares-Filho & Magalhães (2008) em um solo Latossolo Vermelho eutrófico em Londrina no estado do Paraná. Os resultados também estão de acordo com Rachwal et al. (2007) em seu trabalho sobre o manejo de resíduos em diversos tipos de solos, apesar de ter sido realizado em área de relevo suave a fortemente ondulado. Oliveira Barbosa et al (2009) em seu trabalho sobre relações pedomorfogeológicas no Distrito federal em um Latossolo Vermelho Amarelo apresentou resultados diferentes ao presente trabalho, o que foi justificado pela evolução pedogenética.

A argila dispersa em água (ADA) e o grau de floculação (GF) (tabela 1), não apresentaram diferença estatística com relação as condições e profundidades analisadas. A ADA tendenciou maior valor na condição cultivada tanto de 0-10 cm, seguida sob condição de mata nativa e pastagem, pode-se afirmar também que uma maior ADA nessa condição pode ter sido condicionada pelo preparo de solo, o qual deixa o solo frouxo, como partículas soltas. Jackelaitis et al. (2008), em seu trabalho sobre qualidade da camada superficial de solo sob diferentes condições, verificaram os menores valores de ADA na condição sob pastagem justificado pelo uso de matéria orgânica proveniente da forragem no solo referente, a diferença visualizada pelo autor, em confronto ao presente trabalho,

pode ser explicada pelo tipo de condições de uso do solo, visto que a área utilizada por ele era de cultivo comercial.

**Tabela 1.** Análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de flocculação e classificação textural da camada superficial em Latossolo Amarelo.

Condição	Classe Textural			Argila dispersa	Grau de Flocculação	Classificação Textural
	Areia	Silte	Argila			
----- g Kg <sup>-1</sup> -----						
0 - 10 cm						
Cultivada	537 Aa	40 Aa	423 Aa	21 Aa	96 Aa	Franco argilo-arenoso
Mata nativa	557 Aa	33 Aa	410 Aa	13 Aa	97 Aa	Franco argilo-arenoso
Pastagem	569 Aa	51 Aa	380 Aa	4 Aa	99 Aa	Franco argilo-arenoso
10 - 20 cm						
Cultivada	501 Aa	35 Aa	464 Aa	22 Aa	70 Aa	Franco argilo-arenoso
Mata nativa	542 Aa	52 Aa	406 Aa	21 Aa	96 Aa	Franco argilo-arenoso
Pastagem	533 Aa	64 Aa	403 Aa	16 Aa	96 Aa	Franco argilo-arenoso
C.V. (%)	5,65	31,26	7,23	64,14	24,74	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, dentro de cada profundidade, e minúsculas entre profundidade, nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para o grau de flocculação (GF) (tabela 1), foi observada a tendência da pastagem em obter os maiores valores seguido da mata nativa e da cultivada. O solo sob pastagens tem intensa atividade microbiológica, matéria orgânica condicionando o solo, fato que também pode explicar o maior GF para a essa condição. Carvalho Filho et al (2009), concluíram que um sistema de uso do solo com revolvimento, possui menor grau de flocculação, devido a dispersão mecânica promovida pelo manejo de solo. Gasparetto et al (2009) avaliando Latossolo Vermelho, observaram que no uso intenso do solo há uma maior dispersão de argila quando comparado com o solo na condição de mata, propiciando diferenças entre as condições de uso, fato que está em oposição ao presente trabalho, visto que o latossolo analisado não tem uso intenso na agricultura, impossibilitando o aparecimento de diferenças estatísticas.

Na Tabela 2 são verificados os valores referentes a densidade do solo (DS), densidade de partículas e porosidade total, os quais não apresentaram diferenças significativas para as diferentes condições, assim como nas profundidades analisadas, o qual pode ser explicado pela relevante estabilidade estrutural da classe dos latossolos, sendo necessários longos períodos de manejo para que seja observadas diferenças, os resultados podem ser endossados pela área de mata nativa, a qual sem manejo foi estatisticamente igual as áreas de pastagem e cultivada. Silva et al. (2017), percebeu em seu trabalho com a cultura da seringueira não apresentou diferença significativa entre os diferentes tipos de manejo do solo, para os fatores de densidade do solo e porosidade total.

Mesmo não havendo diferença significativa para as condições, algumas tendências podem ser verificadas, como na camada de 0-10 cm observou-se que a pastagem obteve a maior grandeza e à área cultivada o menor, condição que pode ser justificada pelo pisoteio animal intenso, o qual influencia mais fortemente nos primeiros centímetros do solo, e a cultivada com a menor grandeza pelas recentes práticas de gradagem e aragem. Já na camada de 10-20 cm a área de mata nativa apresentou maior grandeza de DS por causa de possíveis materiais como raízes e galhos nos locais amostrados, visto o adensamento vegetal da área. Foi observada também uma tendência de elevação da densidade do solo com aumento da profundidade e com diminuição de umidade no solo (tabela 4.). Segundo Flores et al. (2007), o pisoteio do animal, parece ser potencializado por época de déficit hídrico. Porém, o manejo correto do pastejo animal não compromete a produtividade das culturas seguintes, apesar de apresentar alterações nas propriedades físicas do solo, em destaque a DS (MARCHÃO et al. 2007).

Souza e Alves (2003) e Roldi Guariz (2009) encontraram valores médios de densidade do solo (DS) sob pastagem maiores que os valores observados neste estudo. Genro Junior et al. (2004) e Reinert et al. (2008), em contraste ao presente trabalho, observaram menor densidade na camada superficial, fato que pode ter relação com a profundidade que o mesmo trabalhou, assim como as condições ambientais e climáticas do experimento dos autores comparado aos do presente trabalho. Conforme Reinert et al. (2008) que para o crescimento normal das plantas o limite de densidade é de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ . Em grau médio na faixa de  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , acontece restrição

com deformação na morfologia das raízes, e acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , as deformações são relevantes.

Para a porosidade total (tabela 2), a tendência mostra que na camada de 0-10 cm o solo sob área cultivada apresentou grandezas ligeiramente superiores de poros seguida da pastagem e mata nativa, na camada de 10-20 cm solo sob condições de pastagem apresentaram grandezas maiores seguida da cultivada e mata nativa. Os valores de porosidade total estiveram inversamente associados aos de DS, isto é, quanto maior porosidade menor a DS, o que concorda com os dados obtidos no trabalho, isso corrobora com Souza e Alves (2003) e Suzuki (2005) onde observaram essa reciprocidade em seus resultados, ambos em um Latossolo Vermelho.

**Tabela 2.** Densidade do solo, de partículas e porosidade total de áreas na camada superficial do solo em Latossolo Amarelo.

Condição	Densidade		Porosidade Total
	Solo	Partícula	
	----- $\text{Kg dm}^{-3}$ -----		- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ -
	<b>0 - 10 cm</b>		
Cultivada	1,34 Aa	2,62 Aa	0,49 Aa
Mata nativa	1,38 Aa	2,50 Aa	0,45 Aa
Pastagem	1,39 Aa	2,62 Aa	0,47 Aa
	<b>10 - 20 cm</b>		
Cultivada	1,41 Aa	2,64 Aa	0,46 Aa
Mata nativa	1,43 Aa	2,52 Aa	0,42 Aa
Pastagem	1,39Aa	2,61 Aa	0,47 Aa
C.V. (%)	3,88	4,92	11,06

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, dentro de cada profundidade, e minúsculas entre profundidade, nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A análise dos dados de resistência à penetração (RP), mostrada na tabela 3, indicaram que houve diferença significativa entre as condições de uso. Esses dados mostram que na profundidade de 0-10cm a condição sob pastagem apresentou maior resistência e a menor resistência foi obtida na Mata Nativa e na área cultivada, na camada de 10-20 cm as condições cultivada e pastagem apresentaram valores estatisticamente iguais e mata nativa a menor. Na camada de 20-30 cm, a área cultivada obteve o maior valor seguida de pastagem e com o menor valor a mata nativa. Na camada de 30-50 cm não houve diferença estatística na RP das diferentes condições. Na profundidade de 50-60 cm, a área cultivada apresentou o maior valor seguida da mata nativa e com o menor valor pastagem, com condições de elevada umidade do solo (tabela 4), a resistência é reduzida.

Na condição cultivada, em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida por porosidade, aerada e por tanto com uma tendência maior de poros (Tabela 2), pode ser condicionado menores valores de RP, resultados similares foram obtidos por Ralisch et al. (2008), Blainski et al. (2008), Carbone Carneiro et al. (2009) e Magalhães et al. (2009). A pastagem apresentou maior valor de resistência à penetração na camada superficial devido ao pisoteio dos animais, dados que corroboram com Ralisch et al. (2008), em seu estudo sobre resistência a penetração de um Latossolo vermelho amarelo e Magalhães et al. (2009), avaliando resistência do solo à penetração em um Latossolo sob bioma Pantanal. Na área de mata nativa foi observada que nas camadas de 0-20 cm obteve menores resultados de resistência a penetração, o que pode ser influenciada pela maior concentração de resíduos orgânicos proveniente da serapilheira, onde a matéria orgânica desempenha papel fundamental na melhoria da estruturação do solo. Silva et al. (2017), trabalhando com indicadores físicos do solo no Cerrado obteve resultados parecido com que este trabalho apresentou.

Após a camada superficial se percebe a consequência do acúmulo das cargas de implementos agrícolas utilizados, formando o chamado “pé de grade” que acarreta no aumento da resistência a penetração na profundidade de 20-30 cm, independente da umidade do solo, dados que é corroboram com de Tormena et al. (2002) e Ralisch et al. (2008). A partir dos 30 até 50 cm foram observadas reduções nos valores de RP, este fato pode ter influência direta de características intrínsecas do solo, as quais em profundidade são menos influenciadas por manejos culturais, o acúmulo de matéria orgânica, junto com a macro e microfaunas, exerce um papel considerável nas

propriedades físicas do solo, diminuindo, por tanto, o efeito de atividades agrícolas e de pastoreio (Pedrotti et al., 2001, Ralisch et al., 2008).

**Tabela 3.** Resistencia do solo à penetração (Mpa) em diferentes condições de uso em Latossolo Amarelo.

Condições	Resistencia à Penetração (RP) (MPa)					
	RP Médias (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Cultivada	0,93 B	3,56 A	2,99 A	2,80 A	2,77 A	3,27 A
Mata nativa	0,56 B	1,13 B	2,05 B	2,40 A	2,83 A	2,96 AB
Pastagem	2,96 A	3,03 A	2,35 AB	2,16 A	2,06 A	1,90 B
C.V. (%)	25,80	32,96	20,53	18,08	22,54	23,28

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, dentro de cada profundidade, e minúsculas entre profundidade, nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

**Tabela 4.** Valores de umidade gravimétrica encontrada no perfil do solo para áreas de pastagem, cultivada e mata nativa, em Latossolo Amarelo.

Condições	Ug (kg kg <sup>-1</sup> )					
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
Cultivada	0,12	0,12	0,16	0,18	0,20	0,20
Mata nativa	0,09	0,15	0,18	0,19	0,18	0,18
Pastagem	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18

Ug = Umidade gravimétrica.

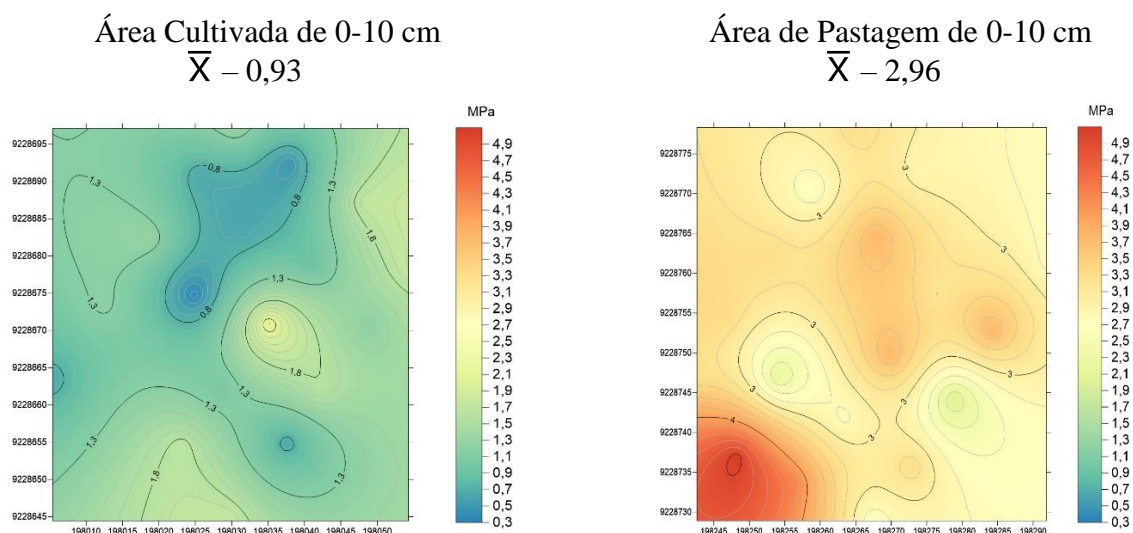
Na figura 3 estão representados os mapas de resistência à penetração do solo para as camadas de 0- 10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm para as áreas de pastagem e cultivada.

A cor azul mostra a resistência a penetração menor e quanto vai ficando vermelha aumenta a resistência nas áreas ao decorrer de suas profundidades.

O mapa mostrou espacialmente o efeito do pisoteio animal sobre a estrutura do solo na camada superficial do solo e ao decorrer das camadas foi uniformizando, em área de pastagem, dados que corroboram com Conte et al. (2012), estudando a evolução de atributos físicos do solo em sistema de ILP, onde observou que maiores valores de RP após o pastejo.

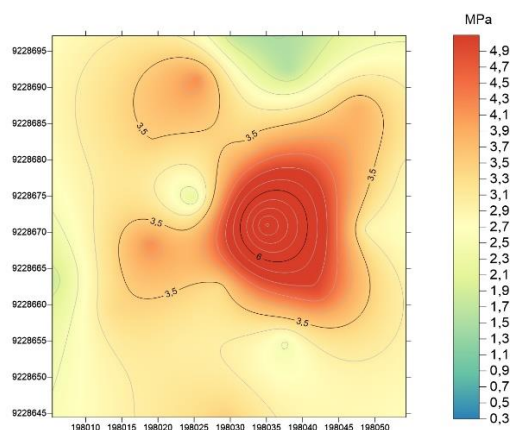
Na área cultiva com valores maiores na parte central, camada 10 cm adiante, provavelmente pelo efeito do tráfego de máquinas. Mostrando ser até essa profundidade maiores os distúrbios causados ao solo pela realização das operações nas condições do estudo e que nessa profundidade os valores se mantiveram próximos. Soares et al. (2008), em seu estudo observaram que o tráfego e manejo do solo incorreto proporcionou incremento na resistência do solo à penetração no sentido da superfície, com menor variabilidade entre os valores na horizontal e maior em profundidade.

**Figura 3.** Mapas de isolinha da resistência mecânica à penetração de solo de área de pastagem e cultivada, em Latossolo Amarelo.

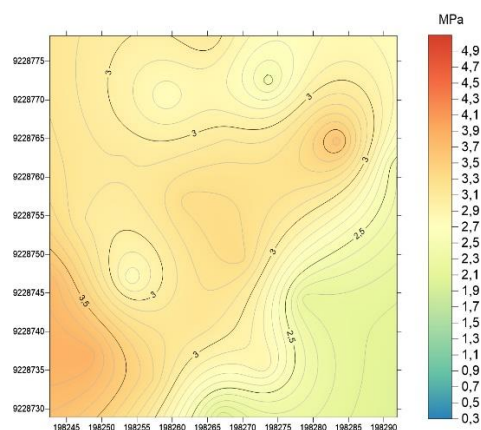




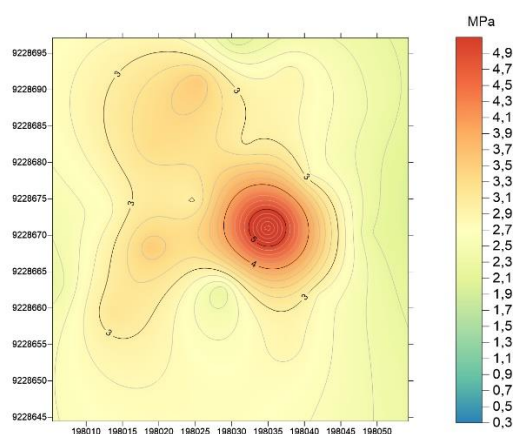
Área Cultivada de 10-20 cm  
 $\bar{X} = 3,56$



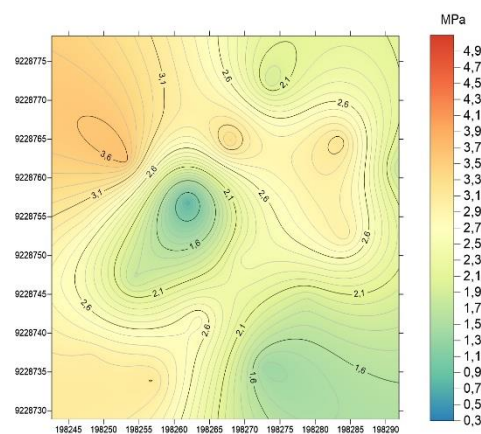
Área de Pastagem de 10-20 cm  
 $\bar{X} = 3,03$



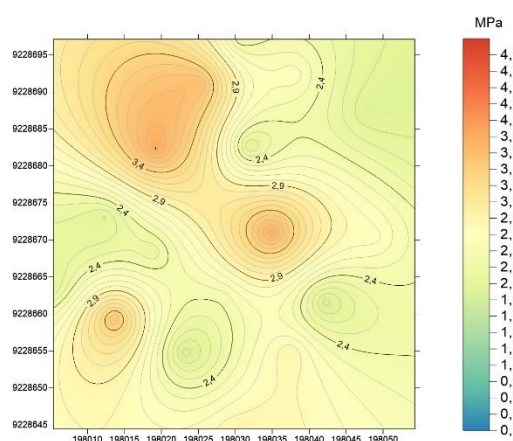
Área Cultivada de 20-30 cm  
 $\bar{X} = 2,99$



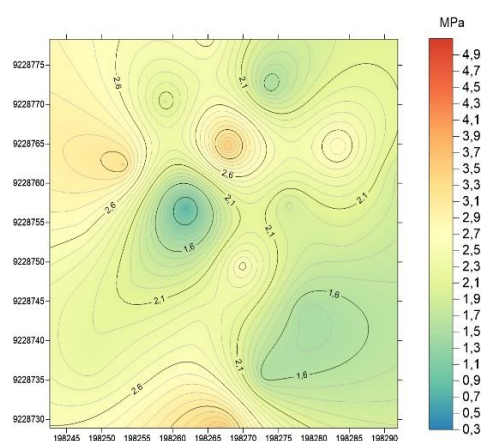
Área de Pastagem de 20-30 cm  
 $\bar{X} = 2,35$



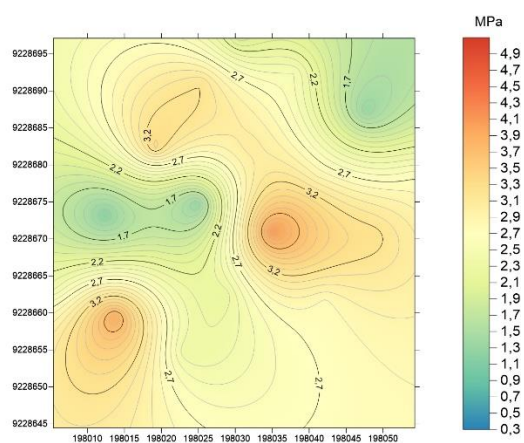
Área Cultivada de 30-40 cm  
 $\bar{X} = 2,80$



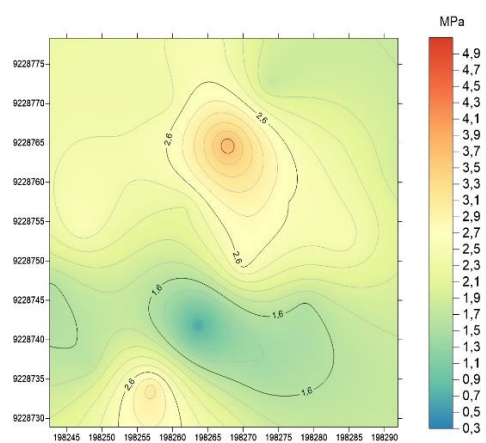
Área de Pastagem de 30-40 cm  
 $\bar{X} = 2,16$



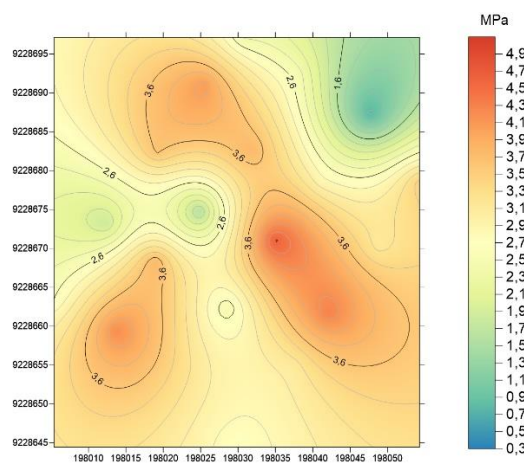
Área Cultivada de 40-50 cm  
 $\bar{X} = 2,77$



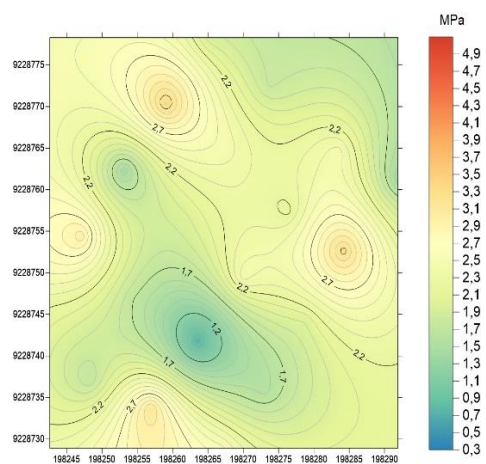
Área de Pastagem de 40-50 cm  
 $\bar{X} = 2,06$



Área Cultivada de 50-60 cm  
 $\bar{X} = 3,27$



Área de Pastagem de 50-60 cm  
 $\bar{X} = 1,90$



## 6- Conclusões

- A áreas estudadas, independentemente do manejo, mostram a tendências no aumento na densidade do solo e consequentemente a diminuição na porosidade total, exceto a pastagem que obteve os mesmos valores de densidade e porosidade total.
- O sistema de cultivo com milho favoreceu a formação de uma camada subsuperficial mais compactada que a camada superficial. Enquanto que na área de pastagem foi maneira oposta, favorecendo a obtenção de condições físicas do solo mais favoráveis quanto à resistência mecânica do solo à penetração ao longo do perfil. O plantio convencional apresentou os menores valores de resistência à penetração, na profundidade 0-10 cm.
- A resistência mecânica do solo à penetração aumentou com a profundidade, mas reduziu com o aumento da mobilização nas cultivadas, menos na área de mata que aumentou ao longo da profundidade.

### Referências bibliográficas

- ARAÚJO, E.A.D.; KER, J.C.; NEVES, J.C.L.; LANI, J.L. **Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação.** Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31: 1099-1108, 2007.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; A. J.; (Eds). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141 (SSSA Special publication, 49).
- BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; O' SULLIVAN, M. F. **Penetrometer Techniques in elation to Soil Compaction and Root Growth.** In: SOIL and environmental analysis: physical methods. 2. ed. [s.l.]: Marcel Dekker. 2001, p. 377-403.
- BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. **Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo-Amarelo, sob diferentes usos.** R. Bras. Ci. Solo. Viçosa, MG, v.25, n.3, p.987-995, 2001.
- BLAINSKI, É., Tormena, C. A., FIDALSKI, J., & GUIMARÃES, R. M. L. **Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração.** Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 975-983, 2008.
- BOTTEGA, E. L., Bottega, S. P., SILVA, S. D. A., QUEIROZ, D. M. D., SOUZA, C., RAFULL, L. Z. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 6, n. 2, 2011.
- CAMARGO, O.A; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, Degaspari, 1997. 132p.
- CARBONE CARNEIRO, M. A., DAMACENA DE SOUZA, E., FIALHO DOS REIS, E., SERON PEREIRA, H., AZEVEDO, W. R. D. (2009). **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 1, 2009.

- CARVALHO FILHO, A., CARVALHO, C., CARLOS, L., CENTURION, J. F., BEUTLER, A. N., CORTEZ, J. W., RIBON, A. A. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho férreo sob sistemas de uso e manejo.** Bioscience Journal, p. 43-51, 2009.
- COLET, M. J. SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. **Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação.** Ciência Agrotecnológica, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.
- CONTE, O., FLORES, J. P. C., CASSOL, L. C., ANGHINONI, I., DE FACCIO CARVALHO, P. C., LEVIEN, R., DE LIMA WESP, C. **Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária.** Pesquisa agropecuária brasileira, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2012.
- CORREIA, Fernanda Rita. **Avaliação do estado de compactação do solo em área de agricultura e de floresta de eucalipto.** 2014.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F.R. **Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.33, n.2, p. 235-244, 2009.
- COSTA, Pedro Henrique dos Santos. **Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo de solo.** Trabalho de conclusão de curso, 2016.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. **Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, v.120, p.201-214, 2004
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment,** Soil Science Society of America, Madison, n. 35, Special publication, p. 1-21, 1994.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro. (2006). 306 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo.** 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p. 2011.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo.** In: VAN LIER, Q. de J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 01-27

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. **Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 771-780, 2007.

FREITAS, D.E.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H.; SILVA, S.H.G. **Physical Indicators of Soil Quality in Oxisols Under Brazilian Cerrado.** In: SORIANO, M.C.H. Soil processes and current trends in quality assesment. Rijeka, InTech, 2013. cap. 3, p. 87-110.

FUENTES LLANILLO, R., RICHART, A., TAVARES FILHO, J., GUIMARÃES, M. D. F., FERREIRA, R. R. **Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais.** Semina: Ciências Agrárias, v. 27, n. 2, 2006.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.** Areia, 28 fev. 2018. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 28 fevereiro. 2018.

GASPARETTO, E. C., BRAIDA, J. A., CARNEIRO, M., SCARIOT, J. J., TABOLKA, C. L. **Grau de floculação da argila de um Latossolo Vermelho utilizado com lavoura e mata nativa.** Synergismus scyentifica UTFPR, v. 4, n. 1, 2009.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, n. 3, 2004.

GOLDEN SOFTWARE, Sufer for Windows version 14.0. Colorado: Golden, 2017.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** Agência CNPTIA, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2006. 8p.

IMHOFF, S. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos.** 2002. Tese (Doutorado)- Escola Superior Luiz de Queiroz/ USP, Piracicaba.

JACKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. **Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 38, p. 118-127, 2008.

KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. **Compressibilidade detrês Latossolos em função da umidade e uso.** R. Bras. Ci.Solo, 23:211-218, 1999.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. **Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejorotacionado intensivo irrigado e não-irrigado.** R. Bras. Ci.Solo, 28:945-951, 2004

MAGALHÃES MAGALHÃES, W., CREMON, C., MAPELI, N. C., DA SILVA, W. M., DE CARVALHO, J. M., DA MOTA, M. S. **Determinação da resistência do solo a penetração sob temas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal.** Agrarian, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G.; SÁ, M.A.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MAZURANA, M., LEVIEN, R., MÜLLER, J., CONTE, O. **Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas.** Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 35, n. 4 (jul./ago. 2011), p. 1197-1206, 2011.

MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S.; VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; MELLO, A.C.L. **Prediction of herbage accumulation of Cynodon grasses by an empirical model based on temperature and daylength.** p. 263-265. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. São Pedro. Proceedings... Piracicaba: FEALQ, 2001.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. **Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado.** R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1149-1159, 2003.

OLIVEIRA BARBOSA, INARA; PINTO COELHO LACERDA, MARILUSA; ROLIM BILICH, MARINA. **Relações pedomorfogeológicas nas chapadas elevadas do Distrito Federal.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 5, 2009.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. **Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.521-529, 2001.

PEREIRA, F.S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F.S.; OLIVEIRA, P.S.; CENTURION, J.F.; FALQUETO, R.J.; MARTINS, A.L.S. **Qualidade física de um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35: 87-95, 2011.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. **Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 37, p. 1795-1801, 2002.

RACHWAL, M.F.G., DEDECEK, R. A., RIBAS CURCIO, G., A SIMON, A. **Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de wild) e a sustentabilidade do sítio.** Ciência Florestal, v. 17, n. 2, 2007.

RALISCH, R., MIRANDA, T. M., OKUMURA, R. S., BARBOSA, G. M. D. C., GUIMARÃES, M. D. F., SCOPEL, E., BALBINO, L. C. **Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

REINERT, D. J., ALBUQUERQUE, J. A., REICHERT, J. M., AITA, C., & CUBILLA ANDRADA, M. M. **Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 5, 2008.

REINERT, D.J.; COLLARES, G.L.; REICHERT, J.M. **Penetrômetro de cone com taxa constant de penetração no solo: Desenvolvimento e teste de funcionalidade.** Engenharia Agrícola, 27:304-316, 2007.



REINERT, D.J.; REICHERT, D.J.; VEIGA, M. SUZUKI, L.E.A.S. **Qualidade física dos solos**. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 16, 2006, Aracaju. Resumos e Palestras. CD-ROM.

REINERT, DALVAN JOSÉ; REICHERT, JOSÉ MIGUEL. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

REYNOLDS, W. D., BOWMAN, B. T., DRURY, C. F., TAN, C. S., LU, X. **Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters**. Geoderma, 110: 131-146, 2002.

ROLDI GUARIZ, HUGO, PICOLI, M.H.S, CAMPANHARO, M.A, CECÍLIO, R.A. **Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais**. *Revista Brasileira de Agroecologia*, [S.l.], v. 4, n. 2, dec. 2009. ISSN 1980-9735. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/9011>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. **Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1827-1835, 2008

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

ROZANE, D. E., CENTURION, J. F., ROMUALDO, L. M., TANIGUCHI, C. A. K., TRABUCO, M., ALVES, A. U. **Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos**. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 1, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; W.A. **Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e plantio direto em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.28p. 155-163, 2011.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. **Review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v.138, p.335-356, 2000.

SILVA, J. R.; NOGUEIRA JUNIOR, S. **Cereais de inverno: entraves e possibilidade no Estado de São Paulo.** Informativo Econômico, Rio de Janeiro, v.31, n.2, p.51-57, 2001.

SILVA, L. G. M., RIBON, A. A., ALVES, A. R., OLIVEIRA, P. S. N., DOS SANTOS VIANA, S., LIMA, W. G. **Indicadores Físicos de um Solo Cultivado com Seringueira (hevea brasiliensis) Sob Diferentes Práticas de Manejo no Bioma Cerrado.** In: Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE) (ISSN 2447-8687). 2017.

SILVA, O. C. C., ALVES, A. R., SILVA, L. M., VIANA, S. S., DA SILVA, L. G. M., RIBON, A. A. **Influência do tempo de manejo na modelagem da curva de resistência à penetração de um Latossolo sob diferentes usos e manejo de pastagens e mata nativa.** In: Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE), (ISSN 2447-8687). 2015.

SINGER, M.; EWING, S. **Soil quality.** In: SUMNER, M. E. (Ed.) Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SOARES DE SOUZA LIMA, J., OLIVEIRA, P. C., BATISTA DE OLIVEIRA, R., XAVIER, A. C. **Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira.** Revista Árvore, v. 32, n. 5, 2008.

SOARES, A., SÁLVIO, N.; MONTEIRO, S. A., OLSZEWSKI, N., BEZERRA DE MELO, S., JARBAS FERREIRA CUNHA, T., GIONGO, V., DE SOUZA PEREIRA, J. **Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 5, 2015.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. **Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. **Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos.** Maringá: Acta Scientiarum: Agronomy. v. 25, n. 1, p.27-34, 2003.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PEITTER, F.A.; PACHECO, L.P. **Soil use and management and its impact on physical quality.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planasulcar-Stolf.** R. STAB – Açúcar, Álcool e Subpr., 1:18-23, 1963.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas.** 2005.

TARDIEU, F. **Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling.** Soil and Tillage Research, v. 30, p. 217- 243, 1994.

TAVARES-FILHO, J.; MAGALHÃES, F.S. **Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 4, 2008.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. **Physical attributes of soil quality.** In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.) **Soil quality for crop production and ecosystem health.** Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p.21-58.

TORMENA, C. A., BARBOSA, M. C., COSTA, A. D., GONÇALVES, A. C. A. **Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo.** Scientia Agrícola, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.